ITEA (2002), Vol. **98A N.° 2,** 83-101

ESTADO Y DEMANDAS ACTUALES DE LOS PROGRAMAS DE MEJORA. VACUNO DE LECHE

Rafael Alenda* y M.ª Jesús Carabaño**

* Departamento de Producción Animal, ETSI Agrónomos, 28040 Madrid, España

** Departamento Mejora Genética Animal, INIA Ctra. de La Coruña, km 7, 28040 Madrid, España

RESUMEN

Se describe el estado actual de la mejora Genética del vacuno de leche en España en tres apartados, objetivos de selección, evaluación genética y apareamientos.

El objetivo de selección más utilizado en la actualidad en España es el ICO que es un índice que combina caracteres de tipo y de producción. Es posible que en el futuro el sector utilice otros índices como son los económicos o subíndices que mejoren aspectos directamente relacionados con la rentabilidad. Por último, se menciona la posibilidad de realizar una predicción genética de la rentabilidad.

Los ganaderos españoles utilizan las valoraciones genéticas oficiales de Conafe para los caracteres de producción y de tipo y las valoraciones internacionales de Interbull. En España se realizan además valoraciones genéticas de la facilidad de parto, velocidad de ordeño y del recuento de células somáticas en una subpoblación española. Se prevé que próximamente se valore el carácter longevidad. En el trabajo se describe la problemática y evolución previsible de las evaluaciones genéticas. Tanto para caracteres de producción como de recuento de células somáticas se prevé la implantación de modelos 'test day' que permiten un análisis directo de los datos recogidos en los controles mensuales en lugar de la medida resumen lactacional. En el carácter dificultad de parto también se prevén cambios sustanciales hacia la inclusión de componentes directa y materna en el modelo, analizados bajo metodología de modelos umbral. Para el carácter longevidad, las técnicas de análisis de supervivencia parecen ser las teóricamente óptimas y es previsible su utilización dentro de le valoración nacional.

Brevemente se describe cómo se realizan los apareamientos por parte de un ganadero para obtener hembras y por parte de un centro de inseminación artificial para obtener machos.

Palabras clave: Objetivo de selección, Evaluación genética, Apareamiento.

SUMMARY

PRESENT STATE AND DEMANDS OF BREEDING PROGRAMS: DAIRY CATTLE

The current status of the breeding scheme for dairy cattle in Spain is described in three sections, breeding goals, genetic evaluations and mating design. The production-type index, ICO, is the mostly used selection objective in Spain. It is likely that in the near future other indices such as the profit index or sub-indices directly aimed at improving some of the profitability components are used. Direct selection for profitability is also discussed.

CONAFE, the Friesian Association, provides national evaluations for production and type traits. International evaluations provided by Interbull for those traits are also available in the Spanish scale. Besides the national and international evaluations for production and conformation traits, genetic evaluations for somatic cell score, milking speed and calving difficulty are carried out in a subpopulation of the Friesian breed. The longevity evaluation is expected to be developed in the near future. In this work, current problems and future perspectives of genetic evaluations in dairy cattle are discussed. Test day models are expected to be the method of evaluation for production traits and somatic cell score evaluations, replacing the use of a lactational value, previously used. The use of models that include direct and maternal components of calving difficulty analysed under threshold models is to be expected for this trait. Survival analysis techniques are the preferred method for the genetic evaluation of longevity.

In the last part of this work, the mating strategy at the farm level to produce the replacement heifers and for the artificial insemination centre to produce sires are briefly commented.

Key words: Breeding goal, Genetic evaluation, Mating.

Introducción

La ganadería del vacuno de leche en España, ante la implantación de la cuota lechera en la UE tuvo que afrontar un reto: el aumento de la competitividad. En la actualidad se puede afirmar que este reto se ha superado con éxito gracias al importante papel desempeñado por el programa de mejora genética que se ha implantado en España, sobre todo en los últimos años.

La producción de leche por lactación de la población española de vacas en control lechero ha aumentado un 60%, pasando de 5.294 litros en 1985 a 8.287 litros en 1999 (INTERBULL, 2000). El progreso genético anual de esta población está asociado a la evolución tecnológica del sector. En el periodo 1985-1989, el progreso genético por año de nacimiento de la población de vacas en control lechero ha sido de 39 kg, 1,6 kg y 1,0 kg de leche, grasa y proteína respectivamente (PENA *et al.*, 2000). En el periodo 1990-1995 se duplicó, obteniéndose un progreso anual de 75 kg, 3,5 kg y 2,9 kg respectivamente, obteniéndose el mayor progreso relativo en los kilos de proteína, que es el carácter más importante en una población con cuota lechera.

El progreso genético conseguido se debe a un elevado número de factores asociados a la evolución tecnológica de la ganadería española, como es el uso adecuado de los apareamientos junto con una mejora espectacular de la relación calidad/precio de las dosis de semen, motivado por la creación de programas competitivos en los centros de inseminación en España. Existen en la actualidad tres programas de testaje de sementales en nuestro país, el primero en establecerse fue el del centro de inseminación ABEREKIN, seguido por el programa que lleva a cabo la Xunta de Galicia y del programa de la cooperativa ASCOL (Asturiana de Control lechero).

Hay que destacar que en las ultimas valoraciones genéticas realizadas por INTERBULL, de las que se hablará más adelante,

se encuentran toros españoles entre los 100 mejores de una población mundial que supera los 77.000 sementales. En la valoración realizada en febrero de 2002, los tres programas existentes en España tienen 7 toros entre los 200 mejores por el índice combinado tipo-producción ICO, ocupando el mejor toro español la octava posición de toda la población compuesta por la valoración de 23 países.

Con la implantación de la cuota lechera, los países europeos sustituyeron la población frisona europea por la Holstein norteamericana, estableciéndose en todos los países programas de testaje. Unos años mas tarde el flujo de genes es en ambas direcciones del Atlántico. Al igual que Holanda, Francia, Italia y Alemania, España está exportando en la actualidad a Norteamérica semen de toros de élite de sus centros de inseminación.

En los próximos años se ha de mejorar la forma de ordenar los animales por su mérito genético de rentabilidad y conseguir la predicción genética de más caracteres y con una mayor precisión para seguir con la competitividad de la ganadería del vacuno de leche.

El sector ganadero es consciente de que en un próximo futuro las diferencias en la rentabilidad entre los animales no van a ser debidas a caracteres productivos porque los sementales ofertados por todos los centros de inseminación artificial poseen un alto potencial genético para los caracteres de producción. Serán los caracteres secundarios o funcionales los que marcarán las diferencias entre los animales. De hecho, el sector ya está demandando que los toros ofertados produzcan vacas longevas sin problemas de fertilidad, de locomoción, que se ordeñen fácilmente y posean unas ubres que permitan producir leche sin problemas durante toda la vida productiva.

Por ello se considera imprescindible para el buen éxito de un programa de testaje la existencia de un control de rendimientos adecuado, que permita la mejora de la rentabilidad de las explotaciones considerando todas las disciplinas de la producción animal. Para ello, inicialmente en la Comunidad Autónoma Vasca y después en los otros programas de testaje en Galicia y Asturias, se estableció una organización a nivel autonómico de recogida de información que permite una gran adaptación a nuevos objetivos o una mejor aproximación a la rentabilidad de una explotación.

En este trabajo se aborda la situación actual y la problemática a resolver en cuanto a objetivos de selección y evaluación genética. También se describe la forma de realizar los apareamientos.

Objetivos y criterios de mejora

Con la implantación del BLUP-Modelo Animal y la publicación de sus resultados en el catalogo de sementales en 1988 por parte de ANFE (Asociación Nacional de Frisona Española), se inició en España el uso de índices genéticos en base a datos españoles.

Paralelamente a los países de nuestro entorno, se estableció en 1991 el índice compuesto ICO, que combinaba valores genéticos de caracteres productivos y de conformación. Este índice se definió por consenso por la junta de Gobierno de CONAFE (Confederación de Asociaciones de Frisona Española) en base a las respuestas genéticas esperadas, y se ha ido adaptando a las circunstancias de producción en

1995, 1997 y 2001. La aceptación mayoritaria del ICO como principal criterio para ordenar los animales ha sido uno de los motivos del mayor progreso genético obtenido los últimos años.

Actualmente, el ICO se compone de un índice de producción (ICOP) y de un índice de tipo (ICOT) con una ponderación de 2:1 (CHARFEDDINE y PENA, 2000). El 66% del ICO es ICOP con una ponderación de un 10% de kilos de grasa, 51% de kilos de proteína y 5% de porcentaje de proteína. Se prevé que los componentes y ponderaciones de los caracteres productivos sean modificadas en un próximo futuro. El ICOT lo componen 3 subíndices: un Índice de Patas y Pies (IPP), un Índice de Compuesto de Ubre (ICU) y un Índice Global de Tipo (IGT), con una ponderación de 24%, 50% y de 26% respectivamente. CHARFEDDINE y PENA (2000) detallan los caracteres que componen dichos subíndices.

Posteriormente surgieron los índices por mérito económico, en los que las ponderaciones de los caracteres a incorporar en el índice se calculan en base a una función de beneficio en la que se expresan los ingresos y los gastos de la producción de leche. Como ocurrió con los índices de producción y tipo, los países de nuestro entorno establecieron índices económicos, siendo el pionero EE.UU. (Net Merit Index). En España, CHARFEDDINE (1998) propuso un índice por mérito económico global llamado MEG.

Un índice económico posee ventajas frente a los índices convencionales porque el valor del índice se expresa en unidades monetarias, está basado en criterios objetivos y posee una mayor versatilidad cuando se desea incorporar otros caracteres. A pesar de ello, en la actualidad el índice MEG es poco utilizado en España.

Hasta ahora, el índice económico utilizado en España sólo lo componen caracteres de tipo y de producción, aunque PÉREZ-CABAL (2002) incorpora en el índice caracteres de fertilidad (intervalo entre partos) y el peso adulto.

La ganadería del vacuno de leche ha experimentado un cambio espectacular en los últimos años en cuanto a la respuesta a la selección de la producción de leche. El sector comienza a demandar que se incluyan otros caracteres para ser más eficientes en la mejora de la rentabilidad. Es frecuente oír la frase "que todos los animales producen mucho pero lo importante es que no den problemas".

Se prevé que en un futuro próximo se modifiquen los objetivos de selección y puede que el enfoque de un índice producción-tipo no sea suficiente. Este índice selecciona por caracteres de producción para obtener una alta productividad por unidad de tiempo y los caracteres de tipo para obtener animales funcionales o longevos. Es más lógico que existan subíndices relacionados con objetivos concretos en sustitución de un objetivo de producción y de longevidad, y que estos índices sean ponderados por su contribución económica en un índice global utilizado para la ordenación de los animales en los principales listados.

Algunas Comunidades Autónomas han organizado una amplia recogida de datos en las explotaciones de vacuno de leche que permite la incorporación de otros caracteres en el programa de mejora. Por ejemplo, los catálogos de ABEREKIN incluyen las valoraciones genéticas del recuento de células somáticas, la velocidad de ordeño y la facilidad de parto. Se han iniciado valoraciones genéticas de los caracteres relacionados con la fertilidad en las hembras, como son la edad al primer parto y el intervalo entre par-

tos. El carácter más importante relacionado con la fertilidad de la hembra es la tasa de no retorno. La información necesaria para realizar la predicción del valor genético está recogida pero se necesita una labor importante de preparación de los datos.

Los índices ICO y MEG pretenden seleccionar por una alta productividad por unidad de tiempo y que ésta sea longeva. En un futuro próximo se realizará una predicción genética del carácter longevidad. La valoración específica del carácter longevidad refleja la acción de varios factores y permitirá el conocimiento del motivo de una buena o mala longevidad.

Con toda la información que se está recogiendo en una explotación ganadera en algunas Comunidades, sería posible realizar un estudio económico completo que permitiera obtener la ponderación de todos los caracteres de interés en el objetivo de selección, que es la rentabilidad. Es previsible que en un próximo futuro se desarrollen varios subíndices relacionados con la rentabilidad:

• Índice de producción, que combina los caracteres de producción según el pago de la leche y la situación de cuota lechera.

• Índice de salud de ubre relacionado con la resistencia a la mamitis, que combina caracteres de tipo de la ubre con el recuento de células somáticas y con la velocidad de ordeño.

• Índice de locomoción, que combina caracteres de tipo relacionados con los miembros y aplomos.

• Índice relacionado con el peso corporal, que combina caracteres de tipo que predigan el peso adulto.

• Índice relacionado con la fertilidad de la hembra, que combina caracteres relacionados con la tasa de no retorno, el intervalo entre parto y la edad al primer parto.

• Índice relacionado con la facilidad de parto, en principio, en base a una valoración subjetiva del parto y, posiblemente, caracteres de tipo.

Por otro lado, y dado que en bastantes explotaciones se recoge gran cantidad de información, es posible conocer la rentabilidad real de un animal. Según PÉREZ-CABAL y ALENDA (2002) la rentabilidad como carácter posee una heredabilidad de 0,25. La predicción de la rentabilidad se podría hacer directamente mediante un análisis multicarácter en el que se combinase el carácter de la rentabilidad real de los animales desechados con los caracteres predictores de la rentabilidad a edades tempranas con producciones en curso. La correlación entre la predicción de la rentabilidad con un modelo multicarácter y la rentabilidad real ha sido de 0,49 (PÉREZ-CABAL, 2002).

El carácter rentabilidad es más completo que un índice tipo-producción y se encuentra próximo al objetivo real de un programa de mejora. En una población en control lechero las diferencias entre el carácter rentabilidad y un índice ICO o MEG serían las mostradas en el cuadro 1.

Evaluaciones genéticas

Según se ha comentado previamente, los caracteres de más peso en el beneficio de las explotaciones lecheras son los caracteres de producción. Sin embargo, debido a los condicionantes de producción, como es la implantación del sistema de cuotas, y a que la fuerte selección ejercida sobre estos caracteres puede deteriorar aspectos de la funcionalidad que también tienen un peso

Cuadro 1. Diferencias entre el carácter rentabilidad y los índices de selección en cuanto a la información considerada

Table 1. Differences in information considered by profitability trait and selection indices

	Rentabilidad	Índice ICO	Índice económico
Fertilidad 1.ª concepción	sí	no	no
Producción	real	Ajustada 305d	Ajustada 305d
Días en lactación	sí	no	no
Días secos	sí	no	no
Coste energía mantenimiento	sí	no	sí
Coste energía producción	sí	no	sí
Coste mamitis	sí	no	sí

económico importante, los caracteres funcionales o no productivos están tomando cada vez más interés. Ello implica que además de las evaluaciones genéticas para caracteres productivos se estén desarrollado sistemas de evaluación genética para un amplio número de caracteres no productivos.

Las evaluaciones genéticas nacionales oficiales en España para el ganado Frisón, se llevan a cabo en CONAFE, para caracteres de producción y morfología. Existen además sistemas de valoración para recuento de células somáticas, velocidad de ordeño y facilidad de parto a nivel de entorno regional.

Para las evaluaciones nacionales de Producción y Conformación se presentan en este trabajo datos basados en información de la valoración de Enero-2002 (CATÁLOGO DE SEMENTALES, 2002; http://www.conafe.com).

Además de las valoraciones nacionales, en ganado vacuno lechero existen evaluaciones genéticas internacionales que lleva a cabo INTERBULL. La información que se suministra en este trabajo se refiere a la última valoración de mayo de 2002 (obtenida a través de la página de internet http://www-interbull.slu.se/)

Caracteres de Producción

Las evaluaciones genéticas para caracteres productivos en vacuno Frisón en España están basadas en el análisis de la producción total acumulada durante un tiempo estándar, establecido en 305 días. Actualmente, se utilizan tanto lactaciones finalizadas o procedentes de animales desechados, como datos de lactaciones en curso, que en ambos casos se extienden para dar la producción estimada en 305 días si la duración de la lactación es inferior a 215 días para lactaciones finalizadas o cuando el tiempo en lactación supera los 65 días para lactaciones en curso. El procedimiento de extensión está basado en la curva media esperada para el animal en función del nivel de producción, edad y época de parto y del dato recogido en el último control disponible para ese animal (REKAYA *et al.*, 1996).

Actualmente, se realizan evaluaciones genéticas directas de los caracteres kg de leche, grasa y proteína, obteniéndose las

evaluaciones de porcentaje de grasa y proteína de forma indirecta a partir de las evaluaciones y medias fenotípicas de la población base para producciones en 305 días. Las evaluaciones genéticas se llevan a cabo dos veces al año de forma rutinaria.

Modelo de evaluación

El modelo utilizado en las evaluaciones genéticas es un modelo animal unicarácter en el que las lactaciones de un mismo animal (sólo se utiliza información de un máximo de 5 lactaciones por vaca) se consideran como medidas repetidas. La ecuación del modelo incluye:

- Efectos ambientales sistemáticos:
  - Grupo de manejo formado por animales del mismo rebaño y en un periodo de tiempo no superior al año. Dependiendo del número de lactaciones presentes en el rebaño en un año, éste grupo se subdivide o no según las vacas sean importadas o españolas, el parto (primero o superior) y la época de parto.
  - Mes de parto dentro de clase de lactación (1ª y resto); región (Cornisa Cantábrica y resto); periodo y nivel de producción del rebaño en el primer parto (288 clases).
  - Edad al parto dentro de lactación (1, 2, 3, 4, 5), región, periodo de tiempo y nivel de producción del rebaño en el primer parto (456 clases).
- Efecto ambiental permanente.
- Efecto genético aditivo ligado al animal que produce el dato.
- Grupos genéticos: definidos según la vía de selección, año de nacimiento, país de origen (9 países) y región de origen para los animales nacidos en España.

El modelo se resuelve utilizando un procedimiento BLUP. Para los tres caracteres evaluados directamente se usa una heredabilidad de 0,28 (PENA *et al.*, 2001) y una repetibilidad de 0,50. Las observaciones se ponderan de manera diferente en función de la duración de la lactación a través de una estructura de varianza residual heterogénea.

Heterogeneidad de varianzas

Estudios previos sobre la población española de ganado Frisón (HERNÁNDEZ *et al.*, 1999; IBÁÑEZ *et al.*, 1999) han encontrado una heterogeneidad de la varianza de los caracteres productivos ligada al nivel de producción del rebaño, área geográfica, tamaño de los rebaños y periodo de tiempo en el que se ha obtenido el dato. Este mismo fenómeno ha sido observado en otras poblaciones y es práctica común en las evaluaciones de caracteres productivos en ganado vacuno lechero realizar una corrección de la heterogeneidad de varianza, que de no hacerse produciría sesgos en las evaluaciones genéticas, reduciría el progreso genético y resultaría en un número desproporcionado de animales seleccionados de ambientes con una mayor variabilidad asociada (HILL, 1984; VINSON, 1987; MEUWISSEN y VAN DER WERF, 1993). Si bien la aproximación más correcta desde un punto de vista teórico sería la de incorporar al sistema de valoración BLUP los componentes de varianza correspondientes a cada ambiente (GIANOLA, 1986), la dificultad de estimar estos parámetros con una precisión adecuada y la mayor complejidad de los modelos a emplear ha llevado a implementar procedimientos más sencillos en las eva-

luaciones nacionales. En general, la corrección de heterogeneidad de varianza se hace mediante el cálculo de factores de ajuste que se aplican de forma multiplicativa y buscan la estabilización de la varianza fenotípica (BROTHERSTONE y HILL, 1986; KACHMAN y Everett, 1993, WEIGEL y GIANOLA, 1993; MEUSISSEN *et al.*, 1996) o residual (ROBERT-GRANIÉ *et al.*, 1999), asumiendo heredabilidad constante, o de la heredabilidad y la varianza fenotípica (WIGGANS y VAN RADEN, 1991), en los grupos de comparación. Los procedimientos de estimación de estos factores se basan en algunas ocasiones en el uso de modelos estructurales sobre las varianzas (FOULLEY *et al.*, 1990, 1992) y pueden estimarse previamente o simultáneamente al proceso de resolución de las ecuaciones BLUP (KACHMAN y EVERETT, 1993; MEUWISSEN *et al.*, 1996), de forma que en el cálculo de los factores multiplicativos se tiene en cuenta la variabilidad adicional que introducen factores como la selección, al incorporar relaciones de parentesco entre ambientes

En nuestro país se emplea un procedimiento basado en el método propuesto por MEUWISSEN *et al.* (1996) en el que los factores de ajuste se estiman dentro del proceso de evaluación genética, haciendo uso de un modelo estructural sobre esos factores (PENA, 2002).

Cambios previstos en un futuro próximo. El modelo 'test-day'

Recientemente, se ha puesto de manifiesto el interés por el uso explícito de las producciones tomadas en el día del control (PDC) en lugar de la medida lactacional calculada a partir de ellas. La utilización de los datos de los controles mensuales para la valoración de caracteres productivos presenta varias ventajas en relación al uso del dato resumen de producción en 305 días. Por un lado, permite identificar mejor los factores ambientales que inciden en el dato observado (la producción en el día de control y no la producción en 305 días, que es un dato calculado a posteriori), y por otro, permite utilizar más información, tanto desde el punto de vista cuantitativo (utilización de hasta 10 o más datos por lactación y animal frente a uno en la producción en 305 días y evitando el desecho de información que se hace al calcular el dato a 305 días por falta de controles) como cualitativo (proporciona información no sólo sobre la cantidad de leche producida sino además sobre la forma en que se produce a lo largo de la lactación, es decir, sobre la persistencia, pico de la lactación, etc.). Además, se evitan los problemas asociados a la extensión de lactaciones incompletas (precisión del método de extensión y generación de datos con menor variabilidad que las lactaciones completas). En contrapartida, la modelización de este tipo de información es, potencialmente, más compleja y los costes computacionales asociados a la aplicación de estos modelos se incrementa de forma muy importante. A pesar de estas desventajas, varios países (Alemania, Canadá, Estonia, Holanda, Finlandia y Suiza. INTERBULL, 2002) ya han desarrollado y adaptado a su situación estructural nuevos modelos matemáticos de valoración genética basados en el análisis directo de las PDC y se espera que a medio plazo se haya producido una reconversión en el campo de la valoración genética del ganado vacuno lechero a sistemas de evaluación basados en el análisis de las PDC.

La forma de modelizar los datos de los controles mensuales ha sido objeto de numerosos estudios. La modelización más simple la constituye un modelo de repetibilidad en

el que se consideran que todas las PDC son medidas repetidas del mismo carácter con varianza constante a lo largo de la lactación (PTAK y SCHAEFFER, 1993). REENTS *et al.* (1995a y b) desarrollaron un modelo que considera los datos de controles dentro de una misma lactación como medidas repetidas y como caracteres diferentes cuando se trata de datos de distintas lactaciones. Un refinamiento con respecto al modelo de repetibilidad simple son los modelos de regresión aleatoria (SCHAEFFER y DEKKERS, 1994), o, equivalentemente, el uso de funciones de covarianza (KIRKPATRICK y HECKMAN, 1989). En este tipo de modelos se reconoce la posibilidad de ajustar distintas curvas individuales para cada animal, tanto en relación a efectos ambientales no sistemáticos como a los efectos genéticos, reconociendo, por ejemplo, la existencia de diferencias en el potencial genético para factores como la persistencia de las curvas de lactación. Además, estos modelos contemplan la existencia de (co)varianzas que cambian con el tiempo, tanto a nivel del componente genético, como de componentes ambientales no sistemáticos.

Otros procedimientos propuestos en este área, como los modelos de los caracteres de proceso (*'character process models'* desarrollados en PLETCHER y GEYER, 1999) basados en considerar el proceso de generación de datos a lo largo del tiempo como una variable aleatoria sobre la que se especifica una determinada distribución que define su media y estructura de (co)varianzas, y, modelos jerárquicos basados en funciones no lineales que usan coeficientes con mayor sentido biológico (VARONA *et al.*, 1998; REKAYA *et al.*, 2000) están sujetos a técnicas computacionales más complejas y no han sido utilizados en evaluaciones nacionales.

Los modelos basados en regresiones aleatorias ajustadas tanto al efecto genético aditivo como al efecto ambiental permanente son los modelos usados en la actualidad en las evaluaciones nacionales, tanto en un contexto unicarácter como multicarácter, donde se incluyen simultáneamente los datos de producción de leche, grasa y proteína.

En nuestra población de Frisón se han realizado estudios sobre el uso de modelos de las PDC en la evaluación genética (REKAYA *et al.*, 1999; LÓPEZ ROMERO, 2002), observándose que la implementación de los MRA a nuestros datos produce unos resultados razonables en términos de adecuación de los modelos a los datos observados o a datos faltantes y son relativamente sencillos de implementar. Se prevé su implantación para la evaluación nacional de caracteres productivos dentro de los próximos 3 años.

Caracteres de conformación

En el sistema de valoración genética nacional para caracteres de conformación se evalúan 16 caracteres lineales y el carácter general Miembros y Aplomos. Los caracteres lineales son los 15 recomendados por la federación mundial de Holstein-Frisón y evaluados por Interbull más el carácter Colocación de Pezones Posteriores. A partir de las evaluaciones de los 16 caracteres lineales se obtienen unos índices sintéticos: índice de Capacidad, índice de Patas y Pies, índice Compuesto de Ubre, índice Global de Tipo, que permiten una apreciación de aspectos globales de la morfología (CATÁLOGO DE SEMENTALES, 2002).

En la evaluación genética sólo se utiliza información sobre una calificación (la primera) que exista para cada animal sobre cada carácter.

Modelo

El modelo que se usa en la evaluación genética es un modelo animal multicarácter que engloba a los 16 caracteres valorados. La ecuación del modelo para cada carácter incluye los siguientes factores:

- Efectos sistemáticos:
  - Rebaño-Visita-Calificador.
  - Ronda de calificación-Calificador-Parto (primero o superior).
  - Número de lactación-Edad en el momento de la calificación. El ajuste de este factor se considera anidado a la Zona (Cornisa Cantábrica y Resto) y al Nivel de producción del rebaño en el primer parto.
  - Estado de la lactación en el momento de la calificación, anidado a Parto (primero o superior), Zona (Cornisa Cantábrica y Resto) y Nivel de producción del rebaño en el primer parto.
- Efectos genéticos: efecto genético aditivo del animal que produce el dato.
- Grupos genéticos: definidos según el sexo, año de nacimiento y país de origen.

Las heredabilidades empleadas en la evaluación genética pueden consultarse en el Catálogo de sementales 2002 (CONAFE).

Cambios previstos en un futuro próximo

Para caracteres de conformación también se ha detectado heterogeneidad de varianzas ligada al efecto del calificador (ROBERT *et al.*, 1997) y al grupo de comparación (KOOTS *et al.*, 1994; WEIGEL *et al.*, 1994). Se espera que en el futuro se lleve a cabo un ajuste de la heterogeneidad de varianzas en los caracteres de conformación en las evaluaciones genéticas del Frisón español mediante un procedimiento similar al utilizado para caracteres de producción.

Otros caracteres evaluados a nivel regional

Además de las evaluaciones nacionales que se llevan a cabo por CONAFE para los caracteres de producción y conformación, se están realizando en nuestro país evaluaciones para otros caracteres, recuento de células somáticas, velocidad de ordeño y facilidad de parto asociadas al programa de testaje del centro de inseminación de ABEREKIN. En la evaluación de recuento de células somáticas se emplea un modelo animal con medidas repetidas. Similarmente a los caracteres de producción, los datos tomados en los controles mensuales se promedian para obtener un dato lactacional, previa transformación logarítmica y preajuste por los efectos de número de lactación-estado de la lactación, fecha de control y producción de leche en el control como covariable. (FERNÁNDEZ *et al.*, 2000). Para la evaluación de recuento celular se está llevando a cabo un desarrollo paralelo al seguido para los caracteres de producción con la implantación de los modelos *'test-day'* en varios países (INTERBULL, 2002).

Las evaluaciones de velocidad de ordeño, cuyo dato se recoge en una escala categórica en primera lactación, se llevan a cabo mediante un modelo animal (FERNÁNDEZ *et al.*, 2000).

En cuanto a la facilidad de parto, también de tipo categórico, se evalúa mediante un modelo macho con metodología de modelos lineales (ALDAY y UGARTE, 1997). La evolución del sistema de evaluación para el

carácter facilidad de parto es previsible que vaya hacia la aplicación de metodología de modelos umbral considerando el componente genético directo (peso al nacimiento del ternero) como el materno (facilidad de parto de la madre), según se realiza en otros sistemas de evaluación nacional (ver, p. ej., DUCROCQ, 2000).

Otros caracteres cuya evaluación genética está en proceso de desarrollo: Longevidad

La longevidad o vida productiva es uno de los caracteres funcionales de mayor importancia económica, según se ha comentado previamente

La evaluación genética de este carácter plantea dos problemas fundamentalmente. Uno es la necesidad de buscar medidas del carácter o métodos de análisis que permitan la evaluación temprana del mismo. El otro es la baja heredabilidad del carácter, que hace poco precisas las evaluaciones genéticas. Esto ha generado una diversidad notable en los procedimientos de evaluación genética.

En relación a la necesidad de obtener evaluaciones genéticas tempranas, en primer lugar se propuso la utilización de medidas de supervivencia (0 ó 1) al comienzo de una lactación determinada, a una cierta edad o en un momento dado después del primer parto (ver, p.ej. revisión en STRANDBERG y SÖLKNER, 1996 sobre los umbrales más utilizados). Cuanto antes se fije el umbral en el que se mide la supervivencia, menor será el intervalo generacional, pero más información sobre la vida productiva total será despreciada. Para evitar los problemas de arbitrariedad en la definición del umbral que define la longevidad y de pérdida de información de animales aún vivos en el momento de medirse la supervivencia, MADGWICK y GODDARD (1989) propusieron, para la evaluación de la población australiana, considerar las medidas de supervivencia en lactaciones sucesivas tras el primer parto como medidas múltiples para cada animal. Estas medidas, que incluyen registros de animales desechados y no desechados, pueden considerarse como medidas repetidas del mismo carácter en un modelo de repetibilidad o como medidas de caracteres diferentes en un modelo multicarácter (JAIRATH *et al.*, 1998, para la evaluación canadiense).

Otra alternativa que permite el uso de datos incompletos es la predicción fenotípica de la longevidad de los animales aún no desechados, a partir de regresores poblacionales. Dentro de este tipo de aproximación están los procedimientos propuestos por VAN RADEN y KLAASKATE (1993) para la evaluación en EE.UU. y BROTHERSTONE *et al.* (1997) para la evaluación en Gran Bretaña. En el primer trabajo, se propone un procedimiento de extensión de los datos incompletos de duración de la vida productiva similar al aplicado a la extensión de las lactaciones incompletas para los caracteres de producción de leche. Este procedimiento ha sido criticado porque es muy posible que los indicadores en los que se basa la extensión de la vida productiva no sean tan buenos como los que se usan en la extensión de la lactación para producción de leche (ESSL, 1998) y porque los coeficientes de determinación asociados a la predicción a partir de datos de edades tempranas son bastantes bajos (STRANDBERG y SÖLKNER, 1996). En el trabajo de BROTHERSTONE *et al.* (1997), se propone la predicción del número de lactaciones en la vida del animal a partir del dato de lactaciones reales y las probabilidades de sobrevivir a cada lactación, calculadas sobre la población total.

Todos los procedimientos mencionados hasta ahora se basan en la utilización de modelos lineales y métodos tipo BLUP y REML para llevar a cabo la valoración genética y para la estimación de componentes de varianza. VUKASINOVIC (1999) argumenta que el análisis del carácter longevidad requiere la utilización de métodos especiales por varias razones. En primer lugar, la distribución de la longitud de la vida productiva es muy asimétrica y a menudo desconocida. En segundo lugar, los efectos que actúan sobre la longevidad no lo hacen de forma lineal (BEILHARZ *et al.*, 1993) y varían con el tiempo (como es el caso de la producción de leche utilizada en la obtención de longevidad funcional, el tamaño del rebaño o el manejo). La utilización de técnicas de análisis de supervivencia (p.ej. KALBFLEISCH y PRENTICE, 1980) permite tener en cuenta estas peculiaridades y hace un tratamiento más adecuado de los datos incompletos o censurados, evitando los problemas mencionados para los procedimientos de extensión. Este tipo de técnicas han sido desarrolladas en nuestra área para el análisis del carácter longevidad (principalmente por DUCROCQ (1987), DUCROCQ y SÖLKNER, 1994 y 1998) y son consideradas como el método teóricamente óptimo (STRANDBERG y SÖLKNER, 1996 y ESSL, 1998 en revisiones bibliográficas y BOETTCHER *et al.*, 1998 en un estudio de comparación con otros métodos).

La complejidad de cálculo de este tipo de análisis es notablemente superior a la de los métodos anteriores, basados, según se ha comentado, en la resolución de las ecuaciones del modelo mixto. Esto limita, al menos por el momento (DUCROCQ, 1999), la utilización del modelo animal y de modelos más complejos como los modelos multicarácter o modelos que permitan obtener méritos genéticos diferentes en función del tiempo. La existencia de un paquete informático denominado "Survival kit" (DUCROCQ y SÖLKNER, 1998) ha facilitado enormemente la aplicación de estas técnicas a la valoración nacional en varios países bajo un modelo macho (DUCROCQ y SÖLKNER, 1998b, en Francia y Austria; DE JONG *et al.*, 1999, en Holanda; PASMAN y REINHARDT, 1999, en Alemania; VUKASINOVIC, 1999, en Suiza).

En cuanto al problema de baja heredabilidad y baja precisión de las evaluaciones, se ha propuesto el uso de caracteres indicadores con una heredabilidad más alta, como son los caracteres de conformación, con el fin de aumentar la información disponible y la fiabilidad, dentro de análisis multicarácter.

En España se prevé la implementación de un sistema de evaluación nacional para longevidad basado en el uso de técnicas de análisis de supervivencia dentro del año próximo, habiéndose realizado estudios previos sobre la definición del modelo de evaluación y de estimación de parámetros genéticos (CHIRINOS *et al.*, 2002)

Evaluación internacional en ganado vacuno lechero

El intenso intercambio de material genético (semen y embriones) entre países hace obvio el interés de establecer comparaciones del mérito genético entre animales de distintos países, tanto desde el punto de vista de optimizar el progreso genético, como de establecer un nivel de precios más justo que adecue la cotización a la calidad genética de los animales. Sin embargo, los índices genéticos de un mismo carácter publicados en distintos países no son directamente comparables y ha sido necesario

desarrollar procedimientos que permitan la comparación internacional del mérito genético. En ganado vacuno lechero, esto se ha hecho dentro del marco de un organismo internacional, INTERBULL. En el momento actual se llevan a cabo por parte de este organismo evaluaciones internacionales del mérito genético de los sementales de vacuno lechero por el método denominado MACE (Multiple Across Country Evaluation) (SCHAEFFER, 1994). Hasta el momento, los caracteres evaluados son caracteres de producción, caracteres de morfología y caracteres de sanidad de la ubre

El modelo de valoración

El modelo en el que se basa la valoración internacional es un modelo macho multicaracter (siendo el mérito genético en cada país un carácter diferente), cuya ecuación es:

$$y = c + u + e$$

donde:

- y es un vector que contiene los valores genéticos obtenidos en cada país, pero corregidos . por los factores que luego tendrá en cuenta el procedimiento de valoración. Esto es, hay que obtener lo que se llaman *"pruebas desregresadas"*, que son las pruebas de las valoraciones nacionales corregidas por la cantidad de información (número de hijas del semental) y los parentescos conocidos entre los toros (BANOS *et al.*, 1990).

En el cuadro 2 se presenta el modelo y la heredabilidad empleadas en las evaluaciones nacionales y el número de datos que se han incluido en la valoración internacional de mayo de 2002, para caracteres de producción.

- c es el efecto país, que se incluye para considerar los distintos niveles genéticos medios de la base de referencia en cada país. Las soluciones para este efecto añadidas a la solución de la valoración para el mérito genético internacional, permite expresar éste en la base correspondiente a cada país.

- u es el vector de méritos genéticos de los sementales participantes en la escala de cada país. Será predicho para todos los toros que participan en la valoración tanto con datos propios o a través de la genealogía. Además, se incluyen grupos genéticos definidos para los ancestros desconocidos según su país de origen, raza, año de nacimiento del toro y vía de selección –padre, abuelo materno y abuela materna–. La inclusión de un grupo genético para la abuela materna suple parcialmente la falta de información sobre las madres.

Al ser un modelo multicarácter, u tiene tantos componentes como países participantes, teniendo en cuenta así la distinta variabilidad genética entre países, y que la correlación entre éstos puede no ser igual a la unidad. Las desviaciones típicas y las correlaciones entre países utilizadas en la valoración son obtenidas por INTERBULL, previo a la realización de la evaluación internacional, a partir de las pruebas de los toros, su fiabilidad, la información genealógica y el valor de la heredabilidad asumido en la evaluación nacional, por un procedimiento tipo REML (SIGURDSSON *et al.*, 1996).

- e es el efecto residual.Tiene también tantos componentes como países, reconociendo las diferencias en variabilidad residual. La varianza residual de cada país se obtiene a partir de la varianzas genética calculada y de la heredabilidad. El modelo también aplica distintos pesos a las pruebas nacionales de los toros según su fiabilidad.

Cuadro 2. Datos de las evaluaciones nacionales considerados en la evaluación rutinaria de Interbull para caracteres de producción de mayo de 2002 (Tomado de http://www-interbull.slu.se/eval/table1-022.html)

Table 2. National evaluation data considered in ordinary Interbull evaluation for production traits in may 2002 (From http://www-interbull.slu.se/eval/table1-022.html)

País	h^2	Modelo evaluación nacional	Nº datos prod. Leche
Australia	0,25	M. animal	3.362
Bélgica	0,30	M animal	1.093
Canadá	0,31-0,42	M. animal, '*test-day*'	5.144
República Checa	0,32-0,35	M. animal multicarácter	1.510
Dinamarca	0,30	M. animal	4.491
Estonia	0,23-0,27	M. animal, '*test-day*'	242
Finlandia	0,33-0,44	M. animal, '*test-day*'	626
Francia	0,30	M. animal	8.258
Alemania	0,30-0,39	M. animal, '*test-day*'	10.687
Hungría	0,20-0,25	M. animal	992
Irlanda	0,35	M. animal	640
Israel	0,25	M. animal	559
Italia	0,30	M. animal	4.004
Holanda	0,51-0,64	M. animal, '*test-day*'	5.915
Nueva Zelanda	0,28-0,35	M. animal	2.739
Polonia	0,20-0,26	M. animal multicarácter	3.639
Sudáfrica	0,19-0,35	M. animal	456
Eslovenia	0,21-0,28	M. animal	75
España	0,28	M. animal	822
Suecia	0,30	M. animal	1.323
Suiza	0,34-0,36	M. animal, '*test-day*'	503
Reino Unido	0,35	M. animal	2.917
Estados Unidos	0,30-0,35	M. animal	17.364

Debido a que ésta no se calcula exactamente de la misma forma en cada país, INTERBULL actualmente utiliza el número de hijas de cada toro junto con la estima de la varianza residual en cada país, como medida de precisión de la prueba nacional.

Bajo el modelo descrito, las incógnitas se estiman mediante metodología de modelos mixtos (SCHAEFFER, 1994).

Control y diseño de los apareamientos

En una explotación ganadera de vacuno de leche, se diseña un apareamiento pensando en la obtención de una hembra de reposición utilizando una dosis seminal suministrada por un centro de inseminación artificial. A su vez, el centro de inseminación artificial busca hembras en las explotaciones comerciales para diseñar un apareamiento

que permita obtener un macho con el suficiente potencial genético que pueda ser utilizado por las explotaciones para obtener hembras. Estas dos decisiones son las responsables del progreso genético de la población del ganado vacuno de leche.

En el ganado vacuno de leche es simple realizar los apareamientos, pero existen matices que determinan el éxito del programa en una situación mundial enormemente competitiva.

Apareamiento a nivel de una explotación

En la actualidad existe una gran objetividad para la elección de los sementales. Todos los sementales de todos los programas existentes en el mundo son evaluados cuatro veces al año por INTERBULL y ordenados en cada país por el índice tipo-producción.

Cada ganadero suele decidir qué sementales utilizar en su ganadería. Mayoritariamente, la exigencia por parte del ganadero en la selección del semental es un alto índice tipo-producción (en España, un alto valor del ICO) y con valores positivos, o altos, en las valoraciones genéticas del sistema mamario y de los miembros y aplomos, ya que los apareamientos se suelen realizar buscando la corrección de los defectos, fundamentalmente en las ubres y las patas. También es importante el conocimiento de la facilidad de parto porque en la inseminación de las novillas sólo se utilizan sementales de parto fácil.

El programa de mejora genética puede aportar al ganadero unos índices específicos relacionados con los costes e ingresos. Estos índices podrían incorporar en la toma de decisión del semental deseado el precio del semen (PÉREZ *et al.*, 2000).

Apareamiento a nivel de un centro de Inseminación Artificial

La descripción de cómo se realiza el testaje de un toro se puede encontrar en UGARTE (2000).

Los tres centros de inseminación españoles pondrán en testaje durante el año 2002 cerca de 100 sementales. Se busca que cada semental tenga al menos 80-100 hijas en control lechero con lactación completada, que obtenga un alto valor del índice compuesto ICO y con valores positivos en el sistema mamario y en los miembros y aplomos. Un alto valor en ICO significa que en la valoración de INTERBULL el semental se encuentra entre los 100 mejores de los más de 3.000 que aportan anualmente todos los 23 países que integran la valoración genética de INTERBULL.

Cada año menos de 10 sementales son padres de, al menos, el 80% de los toros que se ponen en testaje en todo el mundo. Actualmente la madre de los sementales es la que marca la diferencia para que un toro en prueba se convierta semental, o lo que es lo mismo, que su primera prueba sea alta en INTERBULL.

Cuando se iniciaron los programas de testaje, fundamentalmente el programa de ABEREKIN y posteriormente el programa de Galicia, estos se basaban en la detección de hembras norteamericanas con altos índices genéticos y en la importación de 4 embriones que se implantaban en España con objeto de obtener un macho (figura 1). El reto de la selección era la detección de tratamientos preferenciales que motivasen errores en los altos índices genéticos de las hembras. Paralelamente, el programa español impulsaba el MOET en las hembras en explotaciones españolas con alto índices de pedigrí. Hoy se puede afirmar que los pro-

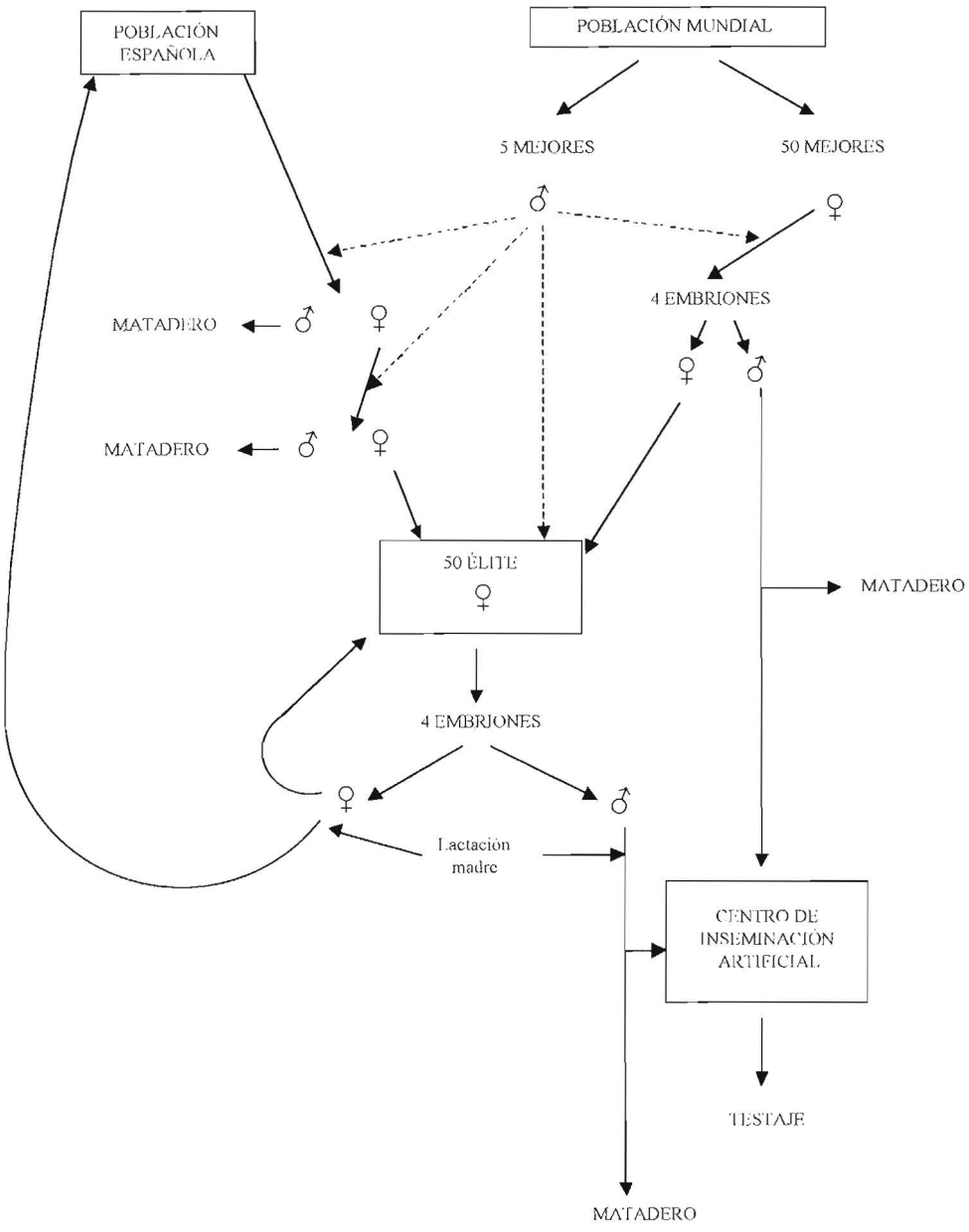


Figura 1. Programa de testaje de ABEREKIN
Figure 1. ABERKIN test program

gramas de obtención de sementales han sido enormemente exitosos, dado que el programa español solo ponía en testaje varias decenas de machos frente a los miles que se ponían por todos los países integrantes de INTERBULL.

Los criterios de selección de los reproductores por un centro de inseminación son similares a los que realizan los ganaderos en sus explotaciones. Se buscan animales con altos índices en kilos de proteína y, a su vez, que tengan un alto índice en el sistema mamario, sin olvidar los miembros y aplomos. Un semental que destaque en producción y tenga algún defecto morfológico puede ser utilizado apareándolo con una hembra excepcionalmente buena en el defecto morfológico del semental.

Normalmente la selección de las hembras era realizada por técnicos del propio centro de inseminación. Hoy, esta labor se está realizando por empresas multinacionales que ofrecen a cualquier centro de cualquier país terneros ya creados por la empresa. La ventaja de este sistema es la reducción del intervalo generacional en un año con lo que se reducen los costos de detección de madres de futuros sementales y los riesgos de cambios en los índices. La labor de un experto en la selección de madres de futuros sementales persiste y es su responsabilidad en el éxito del programa.

Con la experiencia de estos años se piensa que los sementales que destacan proceden de madres con altos índices pero además, suelen tener otros familiares hembras que han producido algún descendiente destacado. Esto se conoce en términos ganaderos como "familias de vacas". Esta información familiar está dispersa por varios países, siendo difícil su utilización.

Otros aspectos

El programa de mejora genética del ganado vacuno de leche no explota ni la varianza no aditiva ni la complementariedad y, no existen estrategias específicas para el control de la consanguinidad. Simplemente, se evita realizar apareamientos que evite machos comunes hasta el nivel de abuelos. El sector español no posee ningún temor a la perdida de la variabilidad genética y a la posible pérdida futura de la competitividad de la raza Holstein. Existe un alto control de la productividad en una población de más de 25 millones de vacas que, automáticamente, descarta los animales con problemas. Y se piensa que se posee una alta capacidad de cambio en los objetivos de selección y que estas modificaciones si fuesen necesarias tendrían un éxito inmediato.

Agradecimientos

Se agradece a M.A. Pérez-Cabal la lectura y sugerencias aportadas a este trabajo.

Bibliografía

ALDAY S., UGARTE E., 1997. Genetic evaluation of calvin ease in Spanish Holstein population. Proc. International Workshop on Genetic Improvement of Functional traits in cattle; Fertility and Reproduction. Interbull Bull. 18: 21-24.

BANOS G., SHAEFFER L.R., BURNSIDE E.B., 1990. North American genetic evaluation of Ayrshire bulls with a linear model. 4th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod. 14: 62-65.

BEILHARZ R.G., LUXFORD B.G., WILKINSON J.L., 1993. Quantitative genetics and evolution: Is our understanding of genetics sufficient to explain evolution? Journal of Animal Breeding and Genetics. 100: 161-170.

BOETTCHER P.J., DEKKERS J.C.M., KOLSTAD B., 1998. Development of an udder health index for sires selection based on somatic cell score, udder conformation and milking speed. J. Dairy Sci. 81: 1157-1168.

BROTHERSTONE S., HILL W.G., 1986. Heterogeneity of variance amongst herds for milk production. Anim. Prod. 42: 297-303.

BROTHERSTONE S., VEERKAMP R.F., HILL W.G., 1998. Genetic parameters for a simple predictor of the lifespan of Holstein-Friesian dairy cattle and its relationship to production. Animal Science. 65: 31-37.

CATÁLOGO DE SEMENTALES, 2002. CONAFE.

CHIRINOS Z., CARABAÑO M.J., HERNÁNDEZ D., 2002. Longevity analysis in Spanish Holstein-Friesian cattle. 7th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Montpellier (Francia). 19-23 Agosto, 2002.

DE JONG G., VOLLEMA A.R. , VAN DER BEEK S., HARBERS A., 1999. Breeding value for functional longevity in the Netherlands. Workshop on Genetic Improvement of Funtional Traits in Cattle-Longevity-. Interbull Jouy-en-Josas, France. Interbull Bull.21: 68-72.

DUCROCQ V.P., 1987. An analysis of length of productive life in dairy cattle. PhD. Thesis, Cornell University., Ithaca, New York, USA.

DUCROCQ V.P., 1999. Topics that may deserve further attention in survival analysis applied to dairy cattle breeding-some suggestions. Workshop on Genetic Improvement of Funtional Traits in Cattle-Longevity-. Interbull Jouy-en-Josas, France. Interbull Bull. 21: 181-190

DUCROCQ, V.P., 2000. Calving ease evaluation of French dairy bulls with a heteroskedastic threshold model with direct and maternal effects. Proceedings of the 2000 Interbull meeting. Bled, Slovenia. Interbull Bull. 25: 123-130.

DUCROCQ V.P., SÖLKNER J., 1994. "The survival kit". A fortran package for the analisys of suvival data. In 'Proc. 5th World Congr. on Geneti. Appl. to Livest. Prod. Vol. 22, p. 51.

DUCROCQ V.P., SÖLKNER J., 1998. 'The Survival Kit V3.0'-a package for large analysis of survival data. In 'Proc. 6th World Congr. on Genet. Appl.to Livest. Prod. 27: 447-448.

ESSL A. 1998. Longevity in dairy cattle breeding: a review. Livest. Prod. Sci. 57, 79-89.

FOULLEY J.L., GIANOLA D., SAN CRISTOBAL M., IM S., 1990. A method for assessing extent and sources of heterogeneity of residual variances in mixed linear models. J. Dairy Sci. 73: 1612-1624.

FOULLEY J.L., SAN CRISTÓBAL M., GIANOLA D., IM S., 1992. Marginal likelihood and bayesian approaches to the analysis of heterogeneous residual variances in mixed linear Gaussian models. Computational Statistics & Data Analysis 13: 291-305.

GIANOLA D., 1986. On selection criteria and estimation of parameters when the variance is heterogeneous. Theor. Appl. Genet. 72: 671-677.

HERNÁNDEZ D., LÓPEZ P., CARABAÑO M.J., ALENDA R., 1999. Aplicación de la metodología Bayesiana en la estima de parámetros genéticos para la producción de leche. ITEA Volumen Extra, 20: 318-320.

HILL W.G., 1984. On selection among groups with heterogeneous variance. Anim. Prod. 39: 473-477.

IBÁÑEZ M.A., CARABAÑO M.J., ALENDA R., 1999. Identification of sources of heterogeneous residual and genetic variances in milk yield data from the Spanish Holstein-Friesian population and impact on genetic evaluation. Livest. Prod. Sci.; 59: 33-49.

JAIRATH L., DEKKERS J.C.M., SCHAEFFER L.R., LIU L.R., BURNSIDE E.B., KOLSTAD B., 1998. Genetic evaluation for herd life in Canada. J. Dairy Sci. 81: 550-562.

KACHMAN S.D., EVERETT R.W., 1993. A multiplicative mixed model when the variances are heterogenous. J. Dairy Sci. 76: 859-867.

KALBFLEISCH J.D., PRENTICE R.L., 1980. The statical analysis of failure time data. Wiley, New York, N. Y.

KOOTS K.R., WADE K.M., KENNEDY B.W., DEKKERS J.C.M., SMITH G.C., BURNSIDE E.B., 1994. Method and effect of adjustment for heterogeneous variance of Holstein conformation traits. J. Dairy Sci. 77: 294-302.

KIRKPATRICK M., HECKMAN N., 1989. A quantitative genetic model for growth, shape, reaction norms, and other infinite-dimensional characters. J. Math. Biol. 27: 429-450.

LÓPEZ-ROMERO P., 2002. Evaluación y comparación de modelos de regresión aleatoria aplicados al análisis de producciones en el día del control de primeras lactaciones para la evaluación genética del ganado vacuno de leche. Tesis doctoral. E.T.S.I.A. Universidad Politécnica de Madrid (pendiente de defensa).

MADGWICK P.A., GODDARD M.E., 1989. Genetic and phenotypic parameters of longevity in Australian dairy cattle. J. Dairy Sci. 72: 2624-2632.

MEUWISSEN T.H.E., VAN DER WERF J.H.J., 1993. Impact of heterogeneous within herd variances on dairy cattle breeding schemes: a simulation study. Livest. Prod. Sci. 33: 31-41.

MEUWISSEN T.H.E., JONG G., DE ENGEL B., 1996. Joint estimation of breeding values and heterogeneous variances of large data files. J. Dairy Sci. 79: 310-316.

PASMAN E., REINHARDT F., 1999. Genetic evaluation for length of productive life of Holstein cattle in Germany. Workshop on Genetic Improvement of Funtional Traits in Cattle-Longevity-. Interbull Jouy-en-Josas, France. Interbull Bull. 21: 55-59

PENA J., IBÁÑEZ M.A., CARABAÑO M.J., 2001. New genetic parameters for national evaluations of production traits in Spanish Holsteins excluding selected base animals from the estimation of genetic variance. Interbull Bull. No. 26: 18-26

PENA J., 2002. Heterogeneous variance adjustment for production traits in Spanish Holsteins. Interbull Annual Meeting. Interlaaken (Suiza). 26-27 mayo, 2002.

PLETCHER S.D., GEYER C.J., 1999. The genetic analysis of age-dependent traits: Modelling the character process. Genetics: 151: 825-835.

PTAK E., SCHAEFFER L.R.. 1993. Use of test day yields for genetic evaluation of dairy sires and cows. Livest. Prod. Sci. 34: 23-34

REENTS R., JAMROZIK J., SCHAEFFER L.R., DEKKERS J.C.M., 1995a. Estimation of genetic parameters for test day records of somatic cell score. J. Dairy Sci. 78: 2847-2857.

REENTS R., DEKKERS J.C.M., SCHAEFFER L.R., 1995b. Genetic evaluation for somatic cell score with a test day model for multiple lactations. J. Dairy Sci. 78: 2858-2870.

REKAYA R., BÉJAR F., ALENDA R., CARABAÑO M.J., 1996. La nueva metodología de extensión de la lactación. Frisona Española. 94: 33-41.

REKAYA R., CARABAÑO M.J., TORO M.A., 1999. Use of test day yields for the genetic evaluation of production traits in Holstein-Friesian cattle. Livest. Prod. Sci. 57: 203-217.

REKAYA R., CARABAÑO M.J., TORO M.A., 2000. Bayesian analysis of lactation curves of Holstein-Friesian cattle using a nonlinear model. J. Dairy Sci. 83: 2691-2701.

ROBERT C.B., DUCROCQ V.P., FOULLEY J.L., 1997. Heterogeneity of variance for type traits in the Montbéliarde cattle. Genet. Sel. Evol. 29: 545-570.

ROBERT-GRANIÉ C., BONAÏTI B., BOICHARD D., BARBAT A., 1999. Accounting for variance heterogeneity in French dairy cattle genetic evaluation. Livet. Prod. Sci. 60: 343-357.

SCHAEFFER L.R. 1994. Multiple country comparison of dairy sires. J. Dairy Sci. 77: 2671-2678.

SCHAEFFER L.R., DEKKERS J.C.M., 1994. Random regression in animal models for test-day production in dairy cattle. Proc. 5th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Guelph, vol. 18: 443-446.

SIGURDSSON A., BANOS G., PHILIPSSON J., 1996. Estimation of genetic (co)variance components for international evaluation of dairy bulls. Acta Agric. Scand. Sect. A 46: 129-136.

STRANDBERG E., SÖLKNER J., 1996. Breeding for longevity and survival in dairy cattle. Proceedings International Workshop on Genetic Improvement of Funtional Traits in Cattle. Interbull Gembloux, Belgium. Interbull Bull. 12: 111-119.

VANRADEN P.M., KLAASKATE, E.J.H., 1993. Genetic Evaluation of lenght of productive life including predicted longevity of live cows. J. Dairy Sci. 76: 2758-2764.

VARONA L., MORENO L.A., GARCÍA CORTES L.A., ALTARRIBA J., 1998. Bayesian analysis of Woodd's curve for Spanish dairy cows. J. Dairy Sci. 81: 1469-1478.

VINSON W.E., 1987. Potential bias in genetic evaluation from differences in variation within herds. J. Dairy Sci. 70: 2450-2455.

WEIGEL K.A., GIANOLA D., 1993. A computationally simple bayesian method for estimation of heterogeneous within-herd phenotypic variances. J. Dairy Sci. 76: 1455-1465.

WEIGEL K.A., LAWLOR T.J., 1994. Adjustment for heterogenous variance in genetic evaluations for conformation of United States Holsteins. J. Dairy Sci. 77: 1691-1701.

WIGGANS G.R., VAN RADEN P.M., 1991. Method and effect of adjustment for heterogeneous variance. J. Dairy Sci. 74: 4350-4347.